

газообразным азотом, позволяет исключить растворение атмосферного кислорода, а также исключить влияние образовавшейся азотной кислоты на исследуемый материал.

Определение химической устойчивости («мокрое» хранение) проводили по ГОСТ Р 52126-2003 при температуре 90 °С. Повышенная температура водной среды необходима для ускорения процесса деградации материала в рамках приемлемого временного периода. В связи с тем, что растворимость газов в воде при повышении температуры существенно уменьшается, методика подготовки контактных растворов заключалась в полной деаэрации дистиллированной воды при кипячении с обратным холодильником и барботировании в раствор чистого азота/кислорода с принудительным охлаждением до 4 °С.

Для сухого хранения использовали по три образца ТСМ каждого состава. Исследуемые образцы после первичной характеристики помещали в стеклянные, герметично закрытые контейнеры. Хранение образцов осуществляли в печи при температуре 150 ± 1 °С в течение 500, 800 и 1200 часов непрерывно. После завершения цикла хранения контейнеры омывали HNO_3 с концентрацией 1 моль/л для определения выхода элементов из образцов. Температура и присутствие влажного воздуха в свободном объеме контейнера являются влияющими факторами на процесс старения, под действием которых возможно изменение кристаллической структуры в системе Zr-U-O , окисление урана до U_3O_8 и

кристаллизация силикатной стеклофазы. Результатом протекающих процессов может являться изменение плотности ТСМ, появление микротрещин, структурные трансформации и уменьшение механической прочности.

В результате рентгенофазового анализа установлено, что исследуемые образцы после ускоренной деградации демонстрируют постоянство фазового состава – в сравнении с исходными образцами. Кроме того, плотность и пористость исследуемых образцов в обоих случаях остается неизменной для всех составов.

Скорость выщелачивания компонентов для всех образцов с течением времени уменьшается. Заметна разница в скоростях выщелачивания образцов, хранившихся в различных атмосферах – в азотной атмосфере скорость выхода компонентов несколько выше.

По результатам изучения микроструктуры установлено, что такие компоненты как Si, Al, Ca, O, Pu распределены достаточно равномерно по всему образцу, в то время как Cr, Ni, U, Fe образуют вкрапления.

Исследование выполнено за счет средств субсидии Исследовательского института Mitsubishi Research Institute (Япония) №NSU51-18 от 27.11.2019 по реализации проекта «Вывод из эксплуатации и обращение с загрязненной водой (разработка технологий анализа и оценки свойств топливных осколков (разработка технологии оценки старения свойств топливных осколков))»

Список литературы

1. Jacquemain D. *Science and Technology Series. Nuclear Power Reactor Core Melt Accidents. France, 2015. – P. 415. ISBN: 978-2-7598-1835-8.*

ПЛАЗМЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ УГОЛЬНОГО ШЛАКА

Ж. Болатова, А.В. Филимоненко

Научный руководитель – к.т.н., доцент А. Я. Пак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30, zsb3@tpu.ru

Угольный шлак является отходом процесса сжигания угля на тепловых электростанциях. Утилизация угольного шлака – одна из основных экологических проблем во всем мире. В настоящее время апробируется ряд подходов к

утилизации отходов и управлению процессами их использования. Одним из методов утилизации является плазменная переработка. Различают несколько вариантов плазменной утилизации в зависимости от конструктивных характери-

стик реактора и подхода к генерации плазмы. Плазменный факел может быть сгенерирован дуговым разрядом постоянного или переменного тока, радиочастотным или микроволновым воздействием [1]. Высокие температуры и плотности энергии, достижение которых возможно в плазменных системах, способствуют ускорению химических реакций, сокращают время процесса и тем самым потенциально обеспечивают высокую производительность экспериментальных реакторов. Основным недостатком применения плазмы в решении задачи утилизации шлаков является относительно высокая стоимость процесса, в частности, стоимости электроэнергии и плазменного газа. При этом известен подход к снижению энергоемкости процесса и отказа от расхода инертных газов за счет использования безвакуумного электродугового метода [2].

В данном исследовании были использованы шлаковые отходы после процесса газификации угля класса Д [3]. Шлак измельчался и просеивался в сите с размером ячеек 60 мкм, каждый образец был пронумерован исходя из длительности действующего разряда. Навески угольного шлака 0,5 г (весы ВЛ-124И-С, ГОСМЕТР, Россия, $\pm 0,0001$ г) помещались на дно графитового тигля, где они подвергались воздействию дугового разряда с продолжительностью до 25 с. После обработки дуговым разрядом полу-

ченные образцы взвешивали, и исследовали на рентгенофазовом дифрактометре (XRD 7000s, CuK α -излучение; Shimadzu, Япония).

Анализ полученных рентгеновских дифрактограмм показал (рис. 1), что исходный шлак преимущественно состоит из оксидных фаз кварца (SiO_2) и муллита ($\text{Al}_x\text{Si}_y\text{O}_z$), а также ряда других оксидов металлов и неметаллов, следы которых присутствуют на дифрактограмме. В то время как переработанный в плазме типичный образец содержит графит, кубическую фазу карбида кремния (SiC куб.), гексагональную фазу карбида кремния (SiC гекс.), гексагональную фазу нитрида алюминия (AlN). Такой фазовый состав исходного сырья и продуктов синтеза соответствует известным представлениям о фазовом составе золошлаковых отходов и продуктов их плазменной утилизации. В процессе плазменной утилизации происходит карботермическое восстановление оксидов кремния до карбидов, формирования нитрида алюминия. Полученные материалы требуют разработки методов их очистки от несвязанного углерода для дальнейшего получения отходов сверхтвёрдой керамики на основе карбида кремния и нитрида алюминия.

Исследование выполнено в рамках Государственного задания ВУЗам (FSWW-0022-2020).

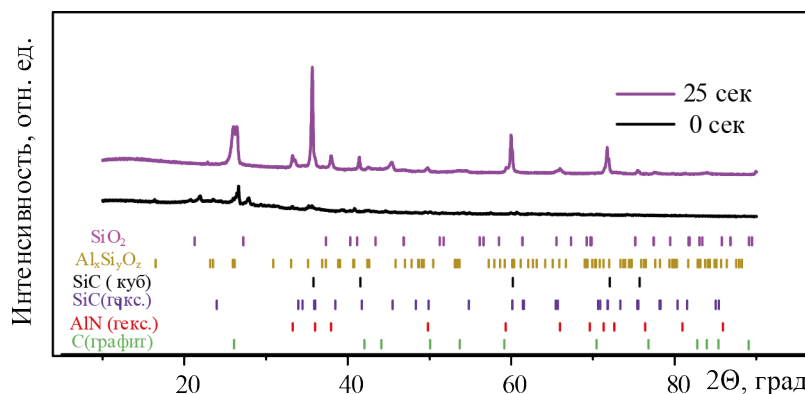


Рис. 1. Типичные рентгеновские дифрактограммы угольного шлака до обработки и после обработки плазмы дугового разряда постоянного тока

Список литературы

1. Tang L., Huang H., Hao H., Zhao K. // *J Electro*, 2013. – Vol. 71. – P. 839–847.
2. Пак А.Я., Губин В.Е., Мамонтов Г.Я. // *Письма в ЖТФ*. 2020. – Т. 46. – № 14. – С. 21–24.
3. Ларионов К.Б., Губин В.Е., Янковский С.А. // «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности» сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции, научное электронное издание, 2014. – С. 280.